Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences | Science
Région du Pacifique
Secrétariat canadien de consultation scientifique
Réponse des Sciences 2012/045

TRANSPORT VERS LA CÔTE DE LA COLOMBIE-BRITANNIQUE DE DÉBRIS ISSUS DU TSUNAMI JAPONAIS : MISE À JOUR

Contexte

Le 9 décembre 2011, la Division des sciences océanologiques (DSO) de Pêches et Océans Canada (MPO) de la région du Pacifique a demandé à la Direction des Sciences du MPO, région du Pacifique, de fournir des renseignements et un avis sur le transport vers la côte ouest du Canada de débris issus du tremblement de terre et du tsunami qui se sont produits au Japon en mars 2011. Cette demande avait été motivée par de nombreuses demandes reçues par la Division des sciences océanologiques; en effet, d'autres ministères et organismes fédéraux, la province de la Colombie-Britannique et les médias souhaitaient savoir quand, où et en quelle quantité des débris issus du tremblement de terre et du tsunami seraient susceptibles d'atteindre les eaux et les lignes de côte canadiennes.

Pour ce faire, un processus spécial de réponse des Sciences (PSRS) a été réalisé le 6 mars 2012 d'après l'information disponible sur les débris, notamment les résultats de deux modèles de circulation océanique indépendants simulant les déplacements des débris dans l'océan Pacifique Nord. Les résultats de ce PSRS peuvent être consultés sur le site suivant : http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/Publications/ScR-RS/2012/2012_006-fra.pdf. Ce document comprend les réponses aux questions suivantes posées à la Division des sciences océanologiques :

1. **À quel moment et à quel endroit pense-t-on que les débris issus du tsunami de Tōhoku de 2011 atteindront les eaux et les lignes de côte canadiennes?**
2. **Quels types de matériaux devrait-on s'attendre à trouver dans les débris et quelle est la quantité de matériaux estimée qui risque d'atteindre les eaux et les lignes de côte canadiennes?**
3. **De quelle manière le Canada et la communauté internationale surveillent-ils les débris pendant qu'ils flottent dans l'océan?**
4. **Quels risques, s'il y a lieu, les débris posent-ils pour les espèces, les habitats et les écosystèmes se trouvant dans les eaux canadiennes?**
5. **Quelles sont les éventuelles répercussions pour la navigation dans les eaux canadiennes?**

Le présent rapport constitue une mise à jour du PSRS original et le remplace. Cette mise à jour est essentielle en raison de plusieurs événements qui se sont produits depuis la préparation du document original. Dans le rapport original, on reconnaissait qu'il serait probablement nécessaire de faire une mise à jour de l'avis formulé lorsque de nouveaux renseignements seraient disponibles. Les récents événements comprennent l'observation en mer de débris issus du tsunami ainsi que l'arrivée de gros débris le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord. De surcroît, de nouvelles simulations de modèles ont été publiées. Alors que les simulations publiées antérieurement portaient sur les débris présentant une prise au vent pratiquement nulle, les nouvelles simulations, elles, étudient l'effet de l'exposition au vent sur le transport des débris. En outre, plutôt que d'utiliser des statistiques climatologiques, les

nouvelles simulations de modèles utilisent l'action éolienne réelle observée dans le Pacifique entre mars 2011 et août 2012.

Les questions examinées dans la présente mise à jour sont les mêmes que celles mentionnées précédemment et que celles du PSRS original. Voici les réponses et les conclusions mises à jour pour ces questions :

1. **À quel moment et à quel endroit pense-t-on que les débris issus du tsunami de Tōhoku de 2011 atteindront les eaux et les lignes de côte canadiennes?** Dans le cas présent, il est nécessaire d'établir une distinction en fonction de la prise au vent des débris. Les gros débris qui flottent bien au-dessus de l'eau et qui sont directement entraînés par le vent sont déjà arrivés dans les eaux canadiennes et se sont déjà échoués sur les côtes de la Colombie-Britannique. Les simulations de modèles révèlent que ces débris offrant une forte prise au vent ont commencé à arriver le long de la côte de la Colombie-Britannique au cours de l'hiver 2011-2012. Cependant, on estime que la majorité des débris offre une exposition au vent de faible à modérée. D'après les simulations de modèles, ces débris issus du tsunami japonais se déplacent plus lentement et devraient approcher de la côte de l'Amérique du Nord au cours du deuxième semestre de 2012 et du premier semestre de 2013. Les débris continueront vraisemblablement d'arriver sur la côte dans une vaste zone géographique s'étendant de l'Alaska à la Californie, et ce, pendant plusieurs années. Pour la plupart, ils consisteront en de petits morceaux plutôt qu'en gros objets, en raison des effets des courants de surface, des vents et des vagues. Il est important de noter que les débris issus du tsunami s'ajouteront aux débris déjà à la dérive dans les eaux canadiennes et qui arrivent chaque jour sur la côte de la Colombie-Britannique. Les tendances actuelles en matière de dépôt de débris sur les lignes de côte devraient se maintenir au moment de l'arrivée des débris du tsunami. Comme il n'est pas possible de déterminer l'origine de la plupart des débris rejetés, le seul indicateur de l'arrivée de débris issus du tsunami sera probablement une augmentation de la quantité des débris (en poids) rejetés par la mer par rapport à la moyenne à long terme. Il est peu probable que les débris issus du tsunami pénètrent dans le détroit de Georgie en raison des courants de surface s'écoulant vers l'océan à l'entrée du détroit de Juan de Fuca ainsi que de la barrière formée par les îles Gulf et San Juan.
2. **Quels types de matériaux devrait-on s'attendre à trouver dans les débris et quelle est la quantité de matériaux estimée qui risque d'atteindre les eaux et les lignes de côte canadiennes?** On n'a vraiment aucune idée de la quantité et de la composition des débris du tsunami qui devraient atteindre l'Amérique du Nord. Selon les premières estimations, la masse de débris emportée par l'océan se situerait entre 20 et 25 millions de tonnes. Toutefois, selon une nouvelle estimation du gouvernement du Japon, environ 1,5 million de tonnes de débris issus du tsunami flottaient toujours dans l'océan en mars 2012. Même si on connaît mal la composition des débris, le gouvernement du Japon estime qu'il s'agit en majorité de matériaux de construction provenant des maisons qui ont été emportées par les vagues. En conséquence, on estime que le bois d'œuvre, très utilisé dans la construction de bâtiments au Japon, constitue une composante importante des débris. La taille et le poids des débris varient énormément, les plus gros pouvant peser des centaines de tonnes, voire plus. La grande majorité des objets sont toutefois probablement beaucoup plus petits. D'après les connaissances actuelles des processus océanographiques et du transport des débris marins, seuls les objets dont la durabilité et la flottabilité sont les plus grandes survivront à la traversée de l'océan Pacifique et atteindront l'Amérique du Nord. Les modèles utilisés pour prévoir les déplacements des débris montrent que la plupart des débris du tsunami resteront dans l'océan pendant de nombreuses années et se rassembleront dans une partie de la zone de convergence subtropicale, aussi appelée la

« plaque de déchets du Pacifique Nord ». Il est peu probable que les débris pris dans la plaque de déchets atteignent ensuite la côte de la Colombie-Britannique.

3. **Quelle surveillance le Canada et la communauté internationale exercent-ils sur les débris qui flottent dans l'océan?** Les débris emportés dans l'océan Pacifique ont été suivis par un satellite de surveillance environnementale pendant environ un mois après le tsunami. On tente actuellement de localiser les débris au moyen d'images satellites de plus haute résolution, mais celles-ci se limitent à de petites parcelles de l'océan. En l'absence de surveillance systématique des débris par satellite, les observations fortuites réalisées par des navires de passage ont été colligées et cataloguées par le gouvernement japonais jusqu'en novembre 2011. Présentement, la National Atmospheric and Oceanic Administration (NOAA) du U.S. Department of Commerce Marine Fisheries participe à un effort continu visant à compiler les observations de débris issus du tsunami.
4. **Quels risques, s'il y a lieu, les débris posent-ils pour les espèces, habitats et écosystèmes se trouvant dans les eaux canadiennes?** Il est impossible de quantifier les risques posés par les débris du tsunami pour les espèces, les habitats et les écosystèmes marins de la Colombie-Britannique et de savoir si ces risques dépassent les seuils d'effet Les niveaux de risque de référence posés par l'action des débris marins pour les espèces, les habitats et les écosystèmes dans les eaux canadiennes sont peu compris et mal documentés; c'est pourquoi, à l'heure actuelle, on ne peut estimer l'augmentation cumulative des risques associée à l'arrivée des débris du tsunami. Il est possible que les débris du tsunami servent de vecteurs à l'introduction d'espèces envahissantes dans les eaux côtières de la Colombie-Britannique. Par ailleurs, le risque de radioactivité associée au césium 137 (^{137}Cs) et à l'iode 131 (^{131}I) en provenance de la centrale nucléaire de Fukushima est jugé faible. Les quelques essais réalisés sur des débris du tsunami ont indiqué des niveaux de radioactivité inférieurs aux seuils de détection.
5. **Quelles sont les éventuelles répercussions pour la navigation dans les eaux canadiennes?** Les répercussions des débris marins sur la navigation dans les eaux canadiennes sont mal connues. Le risque le plus important pour la navigation est vraisemblablement posé par l'arrivée de gros objets dans les eaux côtières ou les voies de navigation, surtout si seule une petite partie de ces objets émerge de l'eau, les rendant donc presque invisibles pour les équipages et les radars des navires. Il peut s'agit par exemple de navires partiellement submergés, de caisses d'expédition, de quais, etc. On estime qu'il est fort peu probable que des maisons réussissent à traverser le Pacifique en restant intactes. Bien que les filets, cordages et autres débris sources d'enchevêtrement provenant du tsunami représentent un risque pour la navigation, ce dernier et ses répercussions viendront probablement s'ajouter, par processus cumulatif, aux risques posés actuellement par les autres débris sources d'enchevêtrement. Les petits objets (p. ex., grumes ou petits morceaux de bois) ne devraient représenter aucun risque supplémentaire pour la circulation des navires au large de la côte ouest de l'île de Vancouver.

Le présent rapport de réponse des Sciences est tiré du Processus spécial de réponse des Sciences de la région du Pacifique sur le transport vers la côte ouest du Canada des débris marins issus du tsunami de Tōhoku de 2011, publié le 5 novembre 2012 par le Secrétariat canadien de consultation scientifique de Pêches et Océans Canada.

Renseignements de base

Le mégaséisme de magnitude 9 qui est survenu sous l'océan à environ 70 kilomètres de la côte est du Japon le 11 mars 2011 a provoqué un tsunami qui a ravagé le pays et entraîné la perte de nombreuses vies. Le tsunami a inondé les terres basses de la région de Tōhoku, au nord-est de l'île de Honshu, et, dans bien des cas, les vagues ont balayé des villages entiers. Ce tsunami a produit une quantité considérable de débris, qui a été pour la plupart charriée dans l'océan lorsque l'eau s'est retirée. Les courants océaniques font actuellement dériver ces débris marins et les dispersent. De gros débris sont déjà arrivés dans les eaux canadiennes. Au cours des mois et des années à venir, on s'attend à ce qu'encore plus de débris parviennent jusqu'à la côte de la Colombie-Britannique. Le rapport suivant présente un aperçu de l'état actuel des connaissances sur le transport des débris marins issus du tsunami de Tōhoku.

Analyse

Débris marins

Les débris emportés dans la mer par le tsunami consistent en une très grande variété d'objets de tailles diverses et composés de différents matériaux, certains aussi grands que des maisons. On ne connaît pas précisément la masse et le volume réels de ces débris. Le ministère de l'Environnement japonais a d'abord évalué les débris produits par le tsunami à environ 25 millions de tonnes, en comptant les débris restés sur le continent et ceux emportés par la mer (NOAA 2012a). L'estimation la plus récente du gouvernement du Japon veut que le tsunami ait emporté environ 4,8 millions de tonnes de débris dans l'océan, dont 70 % étaient des objets plus lourds qui ont coulé au fond sur une distance relativement courte depuis la côte du Japon. Il semble que ce qui reste de la masse de débris, d'un poids estimé à environ 1,5 million de tonnes $\left(1.5 \times 10^{9}\ \mathrm{kg}\right)$, flotte présentement dans le Pacifique Nord.

Figure 1. (En haut) Photographie d'un petit amas de débris marins issus du tsunami japonais prise par la Marine américaine près de la côte du Japon le 13 mars 2011, deux jours après le tsunami. On y distingue très bien la nature variée des débris. Les amas de débris comme celui-ci ont fini par se disperser sur une très vaste étendue océanique. (En bas) Filaments de débris du tsunami transportés vers le large le 14 mars 2011. La prédominance du bois d'œuvre donne à la masse de débris une teinte brun-orangé.

Même si on connaît mal la composition des débris flottants, on estime qu'il s'agit en majorité de matériaux de construction provenant des maisons qui ont été emportées par la mer (gouvernement du Japon 2012a). On sait également que les débris sont constitués, entre autres, de nombreux objets flottants comme des conteneurs, des navires dont la taille va de celle d'un petit bateau à celle d'un navire de taille moyenne, ainsi que de filets et de flotteurs utilisés pour l'aquaculture. La majorité des matériaux légers, comme le plastique, le bois, les caisses en métal, les bouées et les engins de pêche (filets, lignes, bouées, etc.), devrait continuer de flotter à la surface de l'eau ou près de la surface pendant longtemps. Les objets les plus grands, les maisons par exemple, devraient éventuellement se briser en plusieurs morceaux. Étant donné la méthode de construction des bâtiments japonais, le bois d'œuvre constitue une très importante composante des débris issus du tsunami (p. ex., figure 1). Au

cours des prochaines années, il va se gorger d'eau et finira par couler. Les autres objets plus légers, surtout ceux en plastique, peuvent continuer de flotter presque indéfiniment. Ces objets ont une telle prise au vent qu'ils subissent directement l'effet du vent près de la surface de l'eau.

Le tsunami de Tōhoku a inondé la centrale nucléaire de Fukushima, endommageant les réacteurs et les barres de combustible nucléaire irradié entreposées, et provoquant par la suite des fuites de matières radioactives, particulièrement de l'iode 131 (^{131}I, période radioactive de 8,02 jours) et du césium 137 (^{137}Cs, période radioactive de 30,17 années) dans l'atmosphère et l'océan. L'écoulement d'eau radioactive dans l'océan s'est produit bien après que la grande majorité des débris eurent été charriés au large par les courants océaniques. Peu de temps après le tsunami, des panaches de matières radioactives se sont échappés des réacteurs dans l'atmosphère et il est possible qu'une partie se soit déposée sur les débris flottants. Étant donné que l'iode ^{131} a une période radioactive courte et que le césium ^{137} est hydrosoluble, la radioactivité déposée sur les débris s'est probablement dégradée sous les seuils de détection ou a été rincée par son exposition prolongée dans l'océan. Compte tenu de ces facteurs, il n'existe qu'une très faible probabilité que les débris marins soient contaminés par des matières radioactives (NOAA 2012a).

Transport et dispersion par les courants et les vents océaniques

Les débris marins sont transportés et dispersés par les courants et les vents océaniques ainsi que par les vagues qui les accompagnent. Les grands courants et les vents océaniques transportent les débris sur de longues distances. L'océan étant également caractérisé par sa turbulence, des courants de surface et des remous dispersent progressivement un amas de débris initialement compact en une nébuleuse d'objets éparpillés sur une zone étendue.

Le tsunami de Tōhoku a déposé des débris dans l'océan le long de la côte nord de l'île de Honshu. Les courants d'Oyashio et de Kuroshio fusionnent dans cette région pour former l'extension du Kuroshio, un courant rapide se dirigeant vers l'est qui aura emporté les débris des côtes japonaises vers le centre du Pacifique Nord (voir figure 2). Au centre du Pacifique Nord, le débit s'élargit et ralentit pour devenir le courant du Pacifique Nord (ou dérive due aux vents d'ouest). On estime que ce système de courants relativement lent transporte actuellement les débris marins du tsunami de Tōhoku dans l'océan Pacifique vers la côte ouest de l'Amérique du Nord et continuera de le faire pendant un certain temps.

Près de la côte de l'Amérique du Nord, le courant du Pacifique Nord se divise (bifurque) en deux systèmes, l'un se dirigeant vers le nord-est et l'autre vers le sud-est : le courant d'Alaska et le courant de Californie, respectivement. Les débris du tsunami seront transportés dans ces deux systèmes de courants quand ils approcheront de l'Amérique du Nord. Les débris flottant vers le nord dans le courant d'Alaska sont plus susceptibles d'entrer dans les eaux canadiennes, alors que ceux transportés vers le sud risquent davantage d'avoir une incidence sur la côte ouest des États-Unis et Hawaï.

L'étude du déplacement d'objets flottants a montré que la latitude de la bifurcation est environ 50°N (Bograd *et al.* 1999), avec de légères variations d'une année à l'autre. Avant d'échouer sur la ligne de côte de la Colombie-Britannique, les débris doivent traverser une région au débit variable située à l'est de la zone de bifurcation. C'est là que, généralement, des vents d'ouest poussent des segments de la zone de débris jusqu'à la côte. Les courants peuvent seulement apporter les débris près de la côte. Les débris sont ensuite déposés sur la ligne de côte par l'action de la marée qui se retire, des vents du large et des vagues.

L'été, sur la plus grande partie de la côte de la Colombie-Britannique, le vent souffle généralement du nord, ce qui fait remonter les eaux et entraîne les eaux de surface vers la haute mer. Ce déplacement vers la haute mer aidera à protéger la côte, et il est moins probable

que des débris se déposent sur la côte durant la saison estivale de remontée des eaux. En hiver, le vent change de direction et souffle généralement du sud. Cela crée des conditions de plongée d'eau et entraîne les eaux de surface vers la côte, ce qui favorise le dépôt des débris le long de la côte.

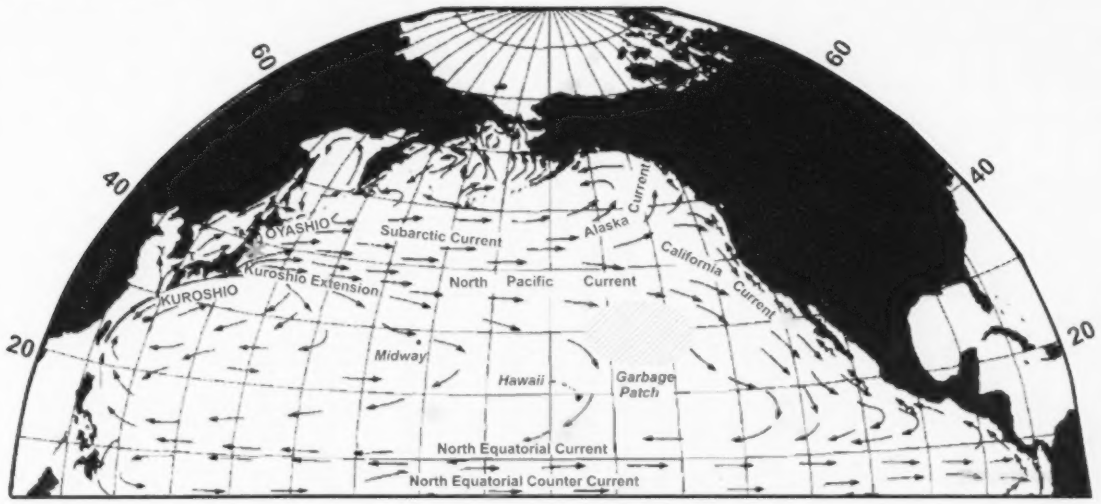


Figure 2. Schéma des principaux courants du Pacifique Nord. Le symbole rouge indique approximativement le lieu où les débris issus du tsunami de mars 2011 sont arrivés dans l'océan. La zone bleue hachurée indique approximativement l'emplacement de la plaque de déchets du Pacifique Nord. Adapté de la figure 3 dans Tabata (1975).

Les grands courants illustrés sur la figure 2 représentent une image idéalisée de la circulation générale dans le Pacifique Nord. D'autres mouvements, très variables et puissants, se produisent à diverses échelles plus petites à tout moment. Ces remous sont les analogues marins des systèmes atmosphériques produisant les situations météorologiques quotidiennes que nous connaissons bien. Le principal effet de la variabilité des remous sur les débris marins est de les répartir sur une étendue de plus en plus grande. Examinons, par exemple, l'estimation de dispersion suivante, dans laquelle l'échelle de longueur de la dispersion d'un amas est

$$d = \sqrt{2Kt} \ ,$$

où t est le temps écoulé et K la diffusivité latérale du remous fondée sur la dispersion d'une seule particule. Zhurbas et Oh (2003) ont indiqué que les valeurs 5 000 – 10 000 $m^2\ s^{-1}$ sont représentatives de la diffusivité d'une seule particule dans l'extension du Kuroshio. En prenant la valeur de diffusivité la plus basse, nous obtenons une étendue de dispersion de $d \approx 400$ km après six mois. Un cercle d'un rayon de 400 km englobe une aire d'environ 500 000 km^2, comparable à la superficie de la province de l'Alberta (660 000 km^2) ou de l'État de la Californie (424 000 km^2). D'après ce calcul simple, les débris issus du tsunami devraient donc être dispersés en un amas très diffus s'étendant sur des centaines de milliers de kilomètres carrés en six mois seulement. Dans cette vaste étendue, la répartition des débris ne devrait pas être uniforme. On observera plus probablement des tas irréguliers et de longs filaments de débris.

Parmi les débris issus du tsunami, certains offrent une très forte prise au vent. On pense surtout aux objets qui flottent tout en demeurant en grande partie au-dessus de la ligne de flottaison et qui subissent directement l'effet du vent près de la surface de l'eau. D'ordinaire, les gros objets

flottants, comme les flotteurs, les barils, les bouées, les conteneurs, les quais et les navires (y compris ceux qui sont partiellement submergés), offrent une importante prise au vent. On ne sait pas exactement la proportion des débris du tsunami que représentent les objets offrant une forte prise au vent. Cependant, il est probable qu'ils constituent une partie relativement petite de l'ensemble des débris. Ils sont malgré tout très importants puisque, dans nombreux cas, les grands objets potentiellement dangereux présenteront une forte prise au vent.

La vélocité des objets offrant une prise au vent, $\mathbf{U}$, peut être considérée comme étant la somme de deux éléments, $\mathbf{U} = \mathbf{U}_{water} + \mathbf{U}_{wind}$, où $\mathbf{U}_{water}$ est la vélocité horizontale de l'eau à la surface de l'océan et $\mathbf{U}_{wind}$ la vélocité de l'objet par rapport à l'eau. Cet élément découle de l'effet direct sur l'objet du vent qui souffle sur la surface de l'eau. Fondé sur un équilibre des forces exercées par le vent et le courant, voici un modèle simple de la vélocité éolienne d'un objet (gouvernement du Japon 2012b) :

$$\mathbf{U}_{wind} = k\sqrt{\frac{A}{B}}\mathbf{U}_{10}$$

où $\mathbf{U}_{10}$ est la vélocité du vent à 10 m au-dessus de la surface de l'eau, A et B correspondent à la superficie de l'objet au-dessus et en dessous de la ligne de flottaison respectivement, et $k \approx 0.025$ est une constante. Ainsi, selon cette relation, un objet ayant par exemple une surface équivalente au-dessus et en dessous de la ligne de flottaison $A/B = 1$ dérivera dans l'eau à un taux de 2,5 % par tranche de 10 m de la vitesse du vent. Cette dérive suivra la direction du vent, qui peut souffler dans une direction légèrement différente de celle du courant de surface. De façon générale, les objets présentant une forte exposition au vent seront transportés de l'autre côté de l'océan plus rapidement que ceux offrant une prise au vent nulle. Les effets de la prise au vent dans les simulations de modèles de transport des débris sont discutés ci-après.

Observations et état actuel

Le transport des débris du tsunami a été observé en haute mer très tôt après leur dépôt dans l'océan. Les débris ont été suivis pendant une courte période au moyen du satellite de surveillance environnementale NESDIS (NOAA 2012b). Des amas de débris ont ainsi pu être observés par imagerie satellitaire pendant un mois environ après le tsunami. Toutefois, dès le 14 avril 2011, la nébuleuse de débris était si dispersée qu'elle n'apparaissait plus sur les images satellite (NOAA 2012b). Depuis, un grand nombre d'actions ont été entreprises pour utiliser une image satellite de plus haute résolution afin d'observer les débris du tsunami. En décembre 2011, des chercheurs de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ont examiné des images satellitaires à haute résolution d'une portion de l'océan d'une superficie de 50 x 60 km, où les débris auraient dû se trouver d'après les simulations des modèles. On n'a pas réussi à détecter de débris, ce qui peut signifier soit que l'échelle des débris était plus petite que la résolution de 1-2 mètres de l'image satellite, soit que les débris ne se trouvaient pas à l'endroit prévu. Les actions entreprises par la suite dans cette lignée sont toujours en cours, mais n'ont pas encore permis d'obtenir de résultats définitifs. Dans l'ensemble, ces travaux mettent en évidence les limites de nos connaissances sur les débris issus du tsunami. L'incapacité à faire le suivi par satellite du déplacement des débris signifie qu'il faut obtenir plus de données globales. En conséquence, la répartition globale des débris du tsunami dans l'océan ne peut être observée et demeure en fait inconnue pour le moment.

Figure 3. (En haut) Photo du Ryou-Un Maru prise par la Garde côtière canadienne le 20 mars 2012 environ 200 km à l'ouest d'Haida Gwaii, en Colombie-Britannique. (En bas) Quai en béton provenant du Japon à Agate Beach, dans l'État de l'Oregon, en juin 2012.

Le gouvernement du Japon a colligé et catalogué les observations directes de débris du tsunami en mer réalisées depuis des aéronefs ou des navires commerciaux (gouvernement du Japon 2012c). Le nombre d'observations signalées entre avril et novembre 2011 s'élève à 97. Toutes indiquaient des débris dans une région du Pacifique située à l'ouest de la ligne internationale de changement de date et au sud du 45° N de latitude. Il s'agissait principalement de gros objets comme des petits bateaux et des conteneurs. Les bateaux étaient le plus souvent renversés ou partiellement submergés. La dernière de ces observations signalées date de novembre 2011.

La NOAA compile actuellement des signalements de présumés débris du tsunami observés en mer et le long de la ligne de côte, y compris en Colombie-Britannique. Le 7 février 2013, la NOAA avait reçu un total de 1 519 signalements d'observations de débris du tsunami, dont 737 sur la côte et 782 en mer. Les signalements de débris du tsunami découlaient d'observations réalisées le long des côtes de la Colombie-Britannique ainsi que des États de l'Alaska, de l'Oregon, de la Californie et d'Hawaï. Un affichage graphique de la répartition

géographique des observations signalées de débris est disponible en ligne et est régulièrement mis à jour (NOAA 2012c). La répartition des débris d'après ces observations semble être plus représentative de la fréquence du passage des humains que de la répartition réelle des débris issus du tsunami. Parmi toutes ces observations, jusqu'à maintenant, on a seulement pu confirmer que 21 objets étaient issus du tsunami de Tōhoku. Il est certainement plausible que parmi les autres objets signalés au NOAA, un grand nombre soit aussi issu du tsunami. Le contraire est aussi possible, car les débris marins sont un phénomène courant et très répandu.

L'un des premiers signalements de débris que l'on a confirmé comme provenant du tsunami a été réalisé en haute mer par le *STS Pallada*, un voilier russe qui voyageait dans le Pacifique vers l'ouest, à destination de Vladivostok (International Pacific Research Center [IRPC] 2011a). Peu après l'atoll de Midway, l'équipage du *STS Pallada* remarqua de nombreux objets à la dérive à la surface de l'eau. Le 22 septembre 2011, à environ 800 km de l'atoll Midway, le *STS Pallada* trouva ainsi un petit bateau de pêche, immatriculé à Fukushima (Japon). Comme prévu, les mesures réalisées sur le bateau ont indiqué des niveaux de radioactivité sous les seuils de détection. Le voilier continua d'enregistrer les débris observés pendant sa navigation vers le nord-ouest, en direction du Japon.

Au cours du premier semestre de 2012, quelques énormes objets issus du tsunami sont arrivés le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord, notamment le *Ryou-Un Maru*, le « bateau fantôme » de 50 m de longueur qui a été découvert dans les eaux canadiennes à environ 200 km au large d'Haida Gwaii le 20 mars 2012 (voir la figure 3). Plus tard, le 18 avril 2012, un conteneur d'expédition contenant une motocyclette a été découvert échoué sur la côte nord-est d'Haida Gwaii, près de Rose Spit, en Colombie-Britannique. Un autre exemple notable de débris dont on a confirmé l'origine est le gros quai en béton qui s'est échoué à Agate Beach, à environ 1,5 km au nord de Newport, dans l'État de l'Oregon, le 5 juin 2012 (figure 3). Tous ces objets, ainsi que d'autres que l'on présume provenir du tsunami japonais, présentent une forte prise au vent. On estime que cette caractéristique a joué un rôle important dans leur arrivée précoce sur la côte. Comme on l'a déjà précisé, on n'a pas surveillé le déplacement des débris, même des plus gros, ce qui explique qu'il n'y ait eu aucun préavis de l'arrivée de ces objets sur la côte. Par exemple, le gros quai illustré à la figure 3 a tout d'abord été signalé alors qu'il flottait au large, un jour seulement avant son échouement sur la côte de l'Oregon (Oregon Parks and Recreation Department 2012).

Simulations de modèles de la répartition des débris

Comme on ne dispose d'aucune donnée tirée d'observations directes par satellite des débris du tsunami datant d'après avril 2011, il est nécessaire de se baser sur des modèles pour estimer la répartition actuelle des débris et prévoir leur répartition future. Si des modèles peuvent être utiles à cet égard, il reste toutefois à déterminer dans quelle mesure ils peuvent simuler avec exactitude le transport des débris issus du tsunami. La prise au vent des débris, qui n'est pas bien définie, constitue également une source d'incertitude majeure. Comme il est indiqué ci-dessous, les simulations de modèles révèlent que la prise au vent d'un objet a une incidence importante sur la vitesse à laquelle il est transporté dans le Pacifique ainsi que sur la direction de son déplacement.

Voici maintenant une brève description d'une simulation de modèle représentative. Tout d'abord, une attention particulière est accordée à un modèle fondé sur des statistiques climatologiques tirées de bouées dérivantes. Ce modèle peut être intégré loin dans l'avenir et peut aider à comprendre le devenir à long terme des débris. La présente simulation est cependant limitée aux débris présentant une prise au vent nulle. Ensuite, les résultats sont illustrés d'après un modèle qui est fondé sur les vents réels observés sur l'océan depuis mars 2011 et qui permet d'intégrer les effets de divers degrés de prise au vent. Ce type

de simulation peut fournir une estimation de la répartition des débris présentant différentes prises au vent. Il peut également aider à comprendre le nombre limité d'observations de débris du tsunami ayant eu lieu jusqu'à maintenant.

Prévisions climatologiques

Des prévisions à long terme du transport des débris du tsunami ont été réalisées par l'Université d'Hawaï (IPRC 2012b) et la NOAA (NOAA 2012a). Les résultats de ces simulations, qui étaient fondées sur des formules de modèles différentes, correspondent généralement. La figure 4 montre la répartition des débris issus du tsunami à différentes périodes selon les prévisions du modèle de l'Université d'Hawaï. Il s'agit d'un modèle statistique reposant sur les trajectoires d'un grand nombre d'objets flottants déployés dans l'océan pendant 30 ans (Maximenko *et al.* 2012). Elles sont représentatives du mouvement des objets se déplaçant dans la couche supérieure de la colonne d'eau. En conséquence, elles s'appliquent au mouvement des objets qui flottent presque entièrement sous la ligne de flottaison et qui ne présentent pratiquement pas de prise au vent. Cependant, la simulation n'est pas représentative du mouvement des objets offrant une grande exposition au vent, flottant bien au-delà de la surface de l'eau et directement soumis à la force du vent.

Voici quelques-uns des principaux résultats de la simulation.

- Comme prévu, la simulation montre la dispersion des débris sur une grande étendue pendant leur transport dans l'océan Pacifique vers la côte nord-américaine.
- La partie la plus avancée de la nébuleuse de débris devrait atteindre le continent nord-américain deux ans à deux ans et demi environ après leur dépôt dans l'océan. D'après ces prévisions, les débris présentant une faible prise au vent commenceront à arriver le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord au cours du premier semestre de 2013.
- Selon les premières constatations, la quantité de débris arrivant le long de la côte devrait progressivement augmenter. Les débris offrant une faible prise au vent continueront d'être transportés par les courants océaniques près de la côte pendant plusieurs années, et ils pourraient continuer à se déposer sur la ligne de côte de la Colombie-Britannique tout au long de cette période.
- Dans la simulation, la plupart des débris sont transportés au sud, dans le système du courant de la Californie, et une part moins importante entre dans le courant d'Alaska. Les débris emportés par le courant de la Californie seront transportés loin de la côte de la Colombie-Britannique, mais pourraient s'échouer le long de la côte ouest des États-Unis, voire jusqu'à l'archipel d'Hawaï.
- La simulation indique que la plupart des débris offrant une faible prise au vent (> 90 %) se trouveront toujours dans l'océan cinq ans après le tsunami. Plus particulièrement, elle montre qu'une grande quantité de débris s'accumulerait dans la zone de convergence subtropicale (figure 1). Des débris flottants, particulièrement du plastique, se sont accumulés au fil des années dans cette vaste étendue océanique située au nord-est d'Hawaï (la plaque de déchets du Pacifique Nord) sous l'effet de la convergence des courants de surface provoqués par les vents (Maximenko *et al.* 2012). D'après la simulation, les débris seraient retenus dans la plaque de déchets pendant de nombreuses années.

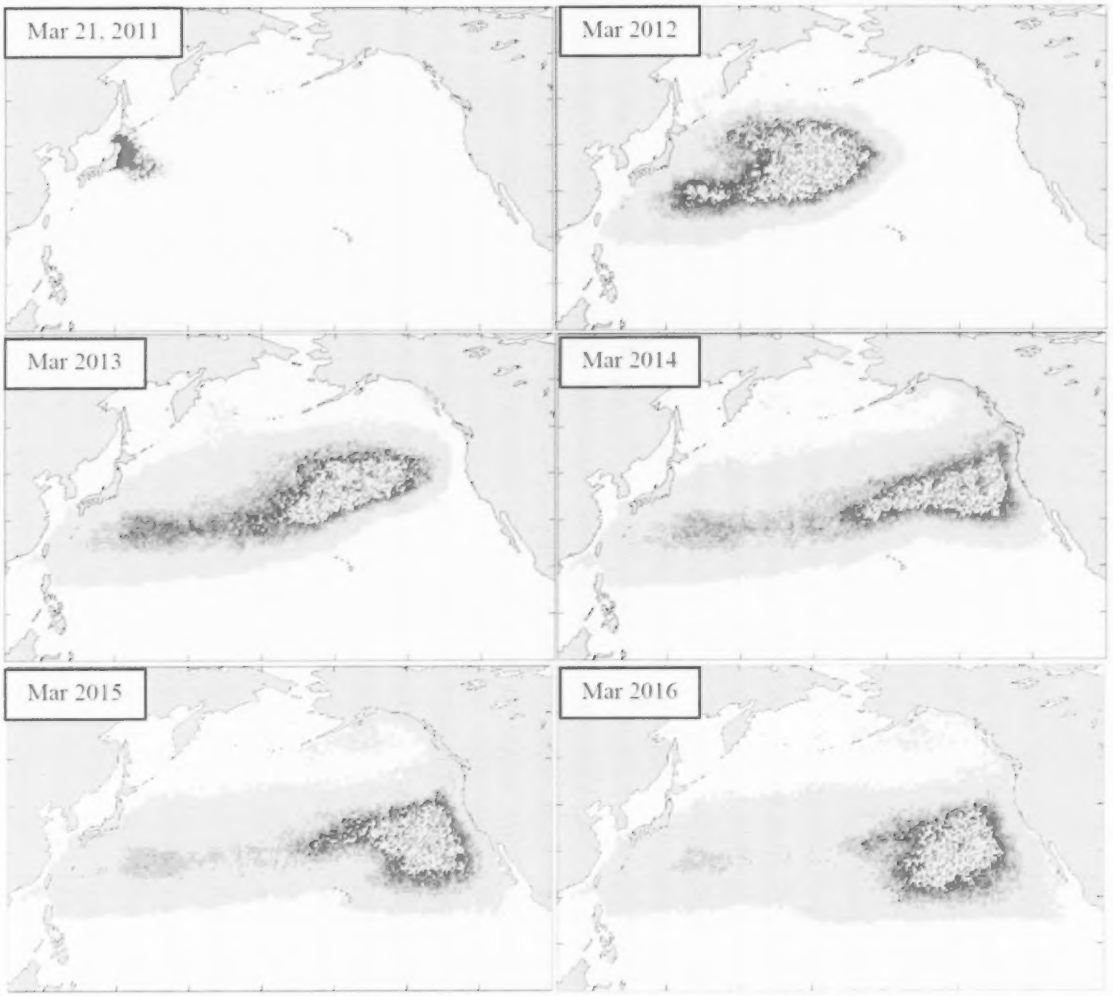


Figure 4. Répartition des débris du tsunami à un an d'intervalle d'après le modèle climatologique réalisé par N. Maximenko et J. Hafner, de l'Université d'Hawaï. Ces résultats s'appliquent aux débris présentant une prise au vent pratiquement nulle. Dans la simulation, l'arrivée des débris à proximité de la côte de la Colombie-Britannique culmine vers le mois de mars 2014, soit trois ans après leur rejet dans l'océan. Des débris parviendront le long de la côte de la Colombie-Britannique pendant au moins cinq ans, quoiqu'à des niveaux moindres. Cette figure est extraite du document du Centre international de recherche sur le Pacifique (IPRC 2012b).

Effets de la prise au vent

Récemment, des simulations de modèles ont été réalisées à l'aide des données sur les vents observés sur le Pacifique depuis 2011 afin de simuler le mouvement des débris. Il s'agit d'une importante simulation, car on peut observer de grandes variations du vent d'une année à l'autre à de grandes échelles dans le Pacifique Nord. En outre, ces simulations ont tenu compte de l'effet de divers degrés de prise au vent sur le transport des débris. Les résultats de certains de ces modèles sont maintenant disponibles, y compris ceux de la NOAA (2012d) et du gouvernement du Japon (2012d). La figure 5 présente les résultats pour deux différentes périodes, qui ont été tirés de nouvelles simulations réalisées à l'Université d'Hawaï par N. Maximenko et J. Hafner.

Les débris présentant divers degrés d'exposition au vent sont représentés dans la simulation comme étant à une concentration relative (équivalente au nombre de morceaux distincts par unité d'océan). Cette simulation utilise les données altimétriques et les vents observés pour estimer les courants océaniques variables selon la période. Bien que les résultats soient représentatifs du comportement d'objets présentant différents degrés de prise au vent, ils ne constituent pas une simulation de la répartition des débris dans l'océan. Comme il est indiqué ci-après, pour générer des prévisions « immédiates » de la répartition des débris, il faut formuler des hypothèses sur la répartition des différentes prises au vent parmi les débris, laquelle demeure inconnue.

Les résultats de la figure 5 indiquent clairement que la prise au vent a des effets marqués sur la vitesse à laquelle les débris issus du tsunami traversent le Pacifique. Les débris simulés présentant une forte prise au vent (4-5 %) approchent de la côte ouest de l'Amérique du Nord ou y arrivent au cours de l'hiver 2011-2012, soit neuf mois à un an environ après avoir été emportés par l'océan. De plus, ces débris, entraînés par les vents d'ouest dominants, tendent à se déplacer plus au nord que ceux présentant une prise au vent nulle qui sont illustrés sur la figure 4. Au printemps 2012, la simulation indique que les débris offrant une grande prise au vent se sont déjà échoués sur la côte ou se trouvent à proximité de la côte de la Colombie-Britannique, des États de l'Alaska, de Washington ou de l'Oregon.

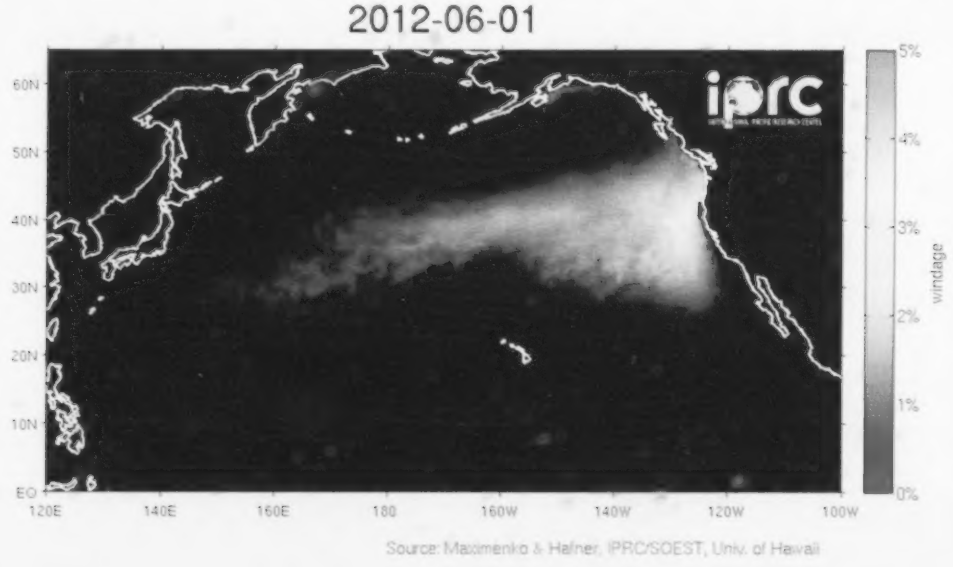
Ces résultats des modèles correspondent aux arrivées sur la côte de débris du tsunami présentant une forte prise au vent, observées au cours du premier semestre de 2012. Cela s'applique surtout aux gros objets déjà mentionnés, comme le conteneur découvert sur la côte d'Haida Gwaii et le « bateau fantôme » observé au large d'Haida Gwaii. On estime que ce dernier présentait une prise au vent d'environ 3,5 % (G. Watabayashi, NOAA, comm. pers.).

Les résultats de la figure 5 indiquent aussi qu'en avril 2012, les débris offrant une prise au vent nulle à modérée (≤ 2 %), c'est-à-dire probablement la majorité des débris du tsunami, se trouvaient bien au large et plus au sud que ceux présentant une plus grande prise au vent. La répartition des débris présentant une prise au vent nulle correspond généralement aux prévisions climatologiques discutées précédemment. Plus particulièrement, la simulation révèle un nuage de débris très dispersés, dont la plus grande densité se trouve au nord-ouest d'Hawaï, et le centre à près de 40 °N de latitude.

Dans la simulation, la partie la plus avancée de la nébuleuse de débris présentant une prise au vent modérée (~ 2 %) s'approche de la côte ouest de l'Amérique du Nord au cours du printemps et de l'été 2012. Sous l'effet des vents dominants d'été, la simulation indique que ces débris offrant une prise au vent modérée tendent à se diriger vers le sud, loin de la côte de la Colombie-Britannique. Pendant ce virage vers le sud, les débris tendent à dériver loin de la côte de l'Amérique du Nord et, en septembre 2012, la nébuleuse est répartie sur une zone qui s'étend entre la Californie et Hawaï. À cause des vents alizés, les débris continueront de dériver vers l'ouest au cours de l'hiver 2012-2013, vers Hawaï puis de retour vers l'Asie.

Les résultats de la prise au vent illustrés sur la figure 5 montrent bien la difficulté de dresser un tableau global de la répartition géographique actuelle des débris du tsunami dans l'océan. Pour établir des prévisions « immédiates » des débris du tsunami, il faudrait formuler une hypothèse concernant les différentes prises au vent des débris. La difficulté réside dans le fait qu'on ne connaît pas vraiment la prise au vent des débris et qu'on ne peut que la présumer. Par exemple, on ignore quelle proportion des débris du tsunami présentent une prise au vent de 3-4 %, de 2 %, etc. Les résultats des prévisions « immédiates » des débris du tsunami dépendraient donc logiquement de cette répartition présumée. C'est pourquoi il est difficile de fournir une estimation significative de la vitesse à laquelle les débris s'approcheront de la ligne de côte de la Colombie-Britannique ou, encore, de quantifier les débris susceptibles de s'y échouer.

Figure 5. Résultats des simulations de modèles des débris présentant différentes prises au vent (0-5 %). Au départ, des quantités similaires de débris virtuels présentant différentes prises au vent ont été relâchées sur la côte du Japon. Ces débris sont par la suite transportés par les courants océaniques et poussés par des différents vents en fonction de la période. Les calculs illustrent le comportement d'objets présentant divers degrés de prise au vent en fonction de différentes forces réalistes du vent. Les graphiques ci-dessous correspondent au 1er janvier 2012 et au 1er avril 2012. Il ne faut pas oublier que ces résultats illustrent simplement les effets de la prise au vent sur le transport des débris. Les véritables débris issus du tsunami déposés dans l'océan ne comprenaient pas autant de débris présentant différentes prises au vent. Il y avait probablement davantage de débris offrant une prise au vent faible à modérée (0-2 %).



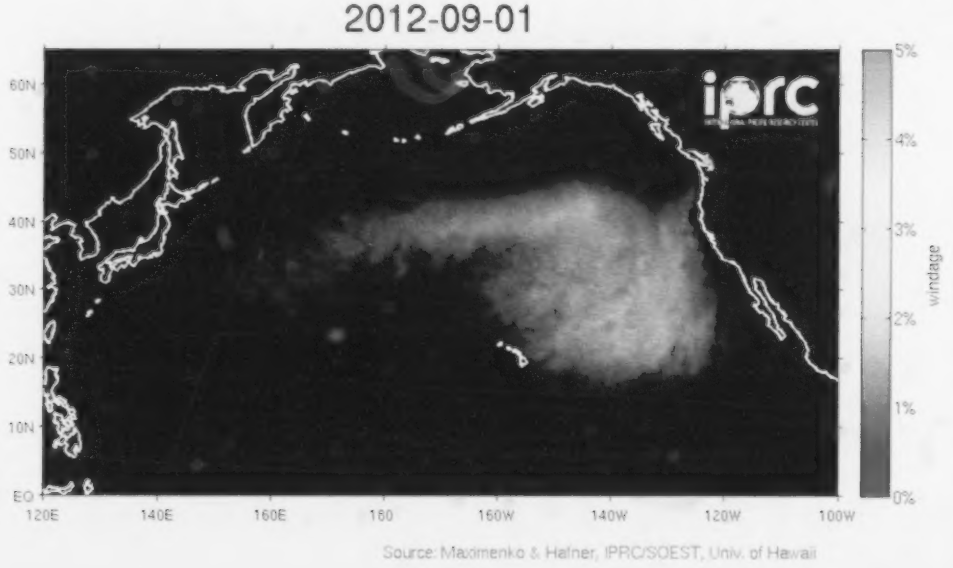


Figure 5 (suite). Résultats d'une simulation de modèle de débris présentant divers degrés de prise au vent le 1er juin 2012 et le 1er septembre 2012. Dans cette simulation, la majorité des débris présentant une très forte prise au vent (4-5 %) s'était échouée au début de l'été. Avec l'établissement du régime estival des vents, la simulation indique que les débris offrant une prise au vent modérée tendent à se diriger vers le sud, puis à s'éloigner de la côte nord-américaine. Dans cette simulation, les débris offrant une très faible prise au vent étaient largement répartis dans tout le centre du Pacifique Nord vers le début du mois de septembre 2012.

Impacts environnementaux et dangers pour la navigation

Il est difficile d'établir avec certitude quel sera l'impact environnemental des débris du tsunami sur les eaux côtières et la ligne de côte de la Colombie-Britannique. À l'heure actuelle, le volume des débris susceptibles d'échouer sur la côte ne peut être estimé et leur composition est mal connue. C'est pourquoi la portée des risques associés aux débris du tsunami pour l'habitat, les espèces et les écosystèmes ne peut encore être déterminée avec certitude pour l'instant. L'un des risques potentiels est posé par les espèces envahissantes. Par exemple, on sait que le quai qui s'est échoué sur la côte de l'Oregon a apporté plus de 90 espèces non indigènes jusque dans les eaux de l'Oregon, notamment *Undaria pinnatifida*, une sorte d'algue marine envahissante (Oregon Parks and Recreation Department 2012).

De même, il est difficile de mesurer les éventuels dangers que représentent les débris pour la navigation. Quelques grands objets (p. ex., des conteneurs de bateaux) pourraient atteindre les eaux de la Colombie-Britannique et nous pouvons donc supposer au moins un risque de collision en mer. De plus, les débris peuvent poser un risque d'enchevêtrement dans des engins de pêche, des cordages et des filets flottants. L'ampleur de ce risque est inconnue par rapport aux risques actuels, vu la documentation insuffisante.

Conclusions

De nombreuses questions intéressantes et importantes se posent concernant les débris marins produits par le tsunami de Tōhoku, mais seules des hypothèses de réponse peuvent être données tant les incertitudes sont grandes. Nous savons qu'une masse importante de débris a été charriée dans l'océan Pacifique depuis la côte du Japon. Le gouvernement japonais estime qu'environ 70 % des débris emportés dans l'océan ont coulé sur la plate-forme continentale et qu'environ 1,5 million de tonnes de débris flottaient toujours dans le Pacifique Nord en mars 2012 (gouvernement du Japon 2012a). On connaît mal la composition des débris, mais on estime qu'il s'agirait en majorité de matériaux de construction provenant des maisons qui ont été emportées par la mer dans des villes côtières au Japon. C'est pourquoi la zone de débris est vraisemblablement largement constituée de bois d'œuvre.

Peu après leur dépôt dans l'océan, les débris ont été transportés au large par les courants océaniques. On a pu suivre les débris par satellite pendant environ un mois, jusqu'à la mi-avril 2011, après quoi la zone de débris était trop dispersée pour être couverte par l'image satellite. Depuis, aucun satellite ne suit les débris issus du tsunami, et on ne connaît pas leur répartition dans l'océan. À l'heure actuelle, la zone de débris est probablement très diffuse, les débris étant dispersés sur une vaste étendue océanique. Comme on n'effectue aucun suivi des débris du tsunami par satellite, on manque actuellement de données fiables sur l'emplacement, les voies de passage et les vitesses de dérive des débris du tsunami dans le Pacifique Nord.

Les courants océaniques et les vents dominants devraient transporter les débris du tsunami à travers le Pacifique jusqu'à la côte ouest de l'Amérique du Nord. On dispose de données probantes à cet égard, tirées d'observations de débris réalisées à l'ouest de la ligne internationale de changement de date par le gouvernement du Japon jusqu'en novembre 2011, et fondées sur des observations fortuites en mer qui ont été colligées et cataloguées par la NOAA. Quelques gros débris sont arrivés le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord au cours du premier semestre de 2012. Des objets que l'on sait être issus du tsunami ont été trouvés sur les côtes de la Colombie-Britannique, des États de l'Alaska, de Washington, de l'Oregon et d'Hawaï, ce qui indique que les débris du tsunami sont à l'heure actuelle largement dispersés.

Les estimations de la répartition actuelle des débris issus du tsunami ainsi que les projections doivent être fonction de l'utilisation des modèles. Il y a beaucoup d'incertitudes à ce sujet, car de tels modèles n'ont fait pas l'objet d'essais adéquats. En outre, les résultats des simulations de modèles révèlent une grande sensibilité à la prise au vent, d'ailleurs mal connue, des débris. Plus particulièrement, la vitesse de transport dans tout l'océan, associée à la trajectoire suivie par les débris, dépend sensiblement des hypothèses formulées à l'égard de la prise au vent offerte par les débris. Dans l'ensemble, la majorité des débris présentent une prise au vent relativement faible, surtout si l'on présume qu'ils sont constitués en grande partie de matériaux de construction et de bois d'œuvre. Les simulations de modèles indiquent que les débris présentant une prise au vent pratiquement nulle commenceront à arriver le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord au cours du premier semestre de 2013. Selon les prévisions, la majorité devrait être emportée vers le sud par le courant de la Californie une fois qu'elle aura atteint l'Amérique du Nord. Une partie de ces débris pourrait s'échouer le long de la côte des États de Washington, de l'Oregon et peut-être de la Californie avant de prendre la direction de l'archipel d'Hawaï. On prévoit qu'une portion moindre des débris sera transportée par le courant d'Alaska, et produira fort probablement les débris à faible prise au vent qui se déposeront sur les plages de la Colombie-Britannique et de l'Alaska. Ces débris pourraient avoir une incidence sur la ligne de côte de la Colombie-Britannique pendant un certain nombre d'années. L'étude de Miller et Brennan (2012) a tenu compte du transport des débris du tsunami jusqu'à la côte de l'État de Washington, et a estimé de façon similaire que des débris allaient s'échouer pendant quelques années. Les modèles indiquent aussi que les débris offrant une faible prise au vent resteront pour la plupart dans l'océan pendant plusieurs années, accumulés dans la plaque de déchets du Pacifique Nord.

Les débris présentant une grande prise au vent traversent le Pacifique Nord plus rapidement. Les simulations de modèles révèlent que ces débris ont atteint la côte de l'Amérique du Nord au cours de l'hiver 2011-2012. Ce résultat correspond à l'arrivée de débris offrant une forte prise au vent le long de la côte ouest de l'Amérique du Nord au début de 2012, environ un an après le tsunami. Les modèles indiquent aussi que pendant cette première année, les débris présentant une forte prise au vent avaient tendance à suivre une trajectoire plus au nord que les débris offrant une faible exposition au vent. Cela signifie que la côte de la Colombie-Britannique devrait recevoir une quantité importante de débris offrant une prise relativement forte au vent. Bien que ces débris ne représentent qu'une petite partie de la masse totale, ils n'en demeurent pas moins importants puisque les très gros objets susceptibles d'être dangereux pour la navigation offrent généralement une prise au vent considérable. Il s'agit d'objets comme le conteneur qui s'est échoué sur la côte d'Haida Gwaii en avril 2012 ou le « bateau fantôme » découvert au large d'Haida Gwaii le 20 mars 2012.

Il est important de noter que des débris marins issus de diverses origines, nationales et étrangères, flottent dans les eaux canadiennes et se déposent sur la ligne de côte de la Colombie-Britannique chaque jour. La plupart sont de petits morceaux sans inscription permettant de les associer au tsunami. Les modèles utilisés pour prévoir les déplacements des débris ne sont pas assez précis pour définir avec exactitude les emplacements sur la côte de la Colombie-Britannique où s'échoueront les débris issus du tsunami. Les tendances actuelles de dépôt des débris sur les lignes de côte devraient toutefois demeurer à peu près les mêmes. Par conséquent, les lieux auxquels s'échouent aujourd'hui des débris (p. ex., les plages « collectrices » de déchets), surtout ceux situés le long de la côte ouest et autour d'Haida Gwaii, sont susceptibles de recevoir des débris du tsunami. Étant donné les régimes de courants océaniques, il est peu probable qu'un grand nombre de débris issus du tsunami entrent dans le détroit de Georgie.

Bien que le tsunami de mars 2011 soit probablement la plus grande source de débris jamais jamais déversés dans le Pacifique Nord, de nombreuses incertitudes demeurent sur ce que

cela signifie en raison du manque de données quantitatives sur les débris marins. Une surveillance des lignes de côte a été réalisée pendant plusieurs années dans l'Olympic Coast National Marine Sanctuary de Washington, au moyen d'un protocole documenté établi par le programme des débris marins de la NOAA (http://marinedebris.noaa.gov/). Même s'il n'existe aucun programme officiel d'observation systématique des rives en Colombie-Britannique, on possède quelques renseignements de base provenant des journées annuelles de nettoyage des plages coordonnées par des organisations non gouvernementales de l'environnement. Des travaux de suivi seront nécessaires pour évaluer la qualité de ces données.

Malgré ces lacunes, on peut avoir quelques idées de la quantité de débris du tsunami en faisant un calcul simple basé sur ceux présentés dans Miller et Brennan (2012). Ces derniers estiment qu'entre 2 et 25 % des débris du tsunami se seront échoués quelques années après le tsunami. Le seuil inférieur de 2 % est fondé sur le taux de récupération observé d'un grand nombre de chaussures de course et de jouets en plastique accidentellement déversés dans l'océan (Ebbesmeyer et Ingraham 1994). On calcule maintenant la quantité de débris en supposant un dépôt uniforme le long des 15 000 km des côtes de l'Amérique du Nord, des îles Aléoutiennes à la péninsule de Baja. Cette longueur de la côte ne tient pas compte des légères irrégularités à petite échelle de la rive, comme les fjords ou les échancrures. Si l'on répartit 2 à 25 % de l'estimation de 1,5 million de tonnes de débris uniformément le long de cette ligne de côte de 15 000 km, on obtient entre 2 et 25 tonnes de débris par kilomètre. En comparaison, Miller et Brennan (2012) rapportent que le dépôt de base des débris marins sur la côte de l'État de Washington se produirait à un taux de 0,7 tonne par kilomètre par an. Un dépôt uniforme le long de la côte est, bien évidemment, une idéalisation extrême du dépôt réel des débris issus du tsunami. Malgré tout, ces calculs servent à illustrer que les débris du tsunami sont susceptibles d'accroître considérablement la quantité de débris marins déposés sur la côte ouest de l'Amérique du Nord pendant un certain nombre d'années. Ils montrent également la très grande incertitude entourant l'établissement de telles estimations.

Ni les risques posés actuellement par les débris marins pour les habitats, les espèces et les écosystèmes de la Colombie-Britannique, ni l'augmentation cumulative des risques due aux débris du tsunami ne sont quantifiables, car les risques posés par les débris marins dans les eaux canadiennes en général sont mal compris et peu étudiés. S'il est possible que le risque d'enchevêtrement dans des filets et des cordages à la dérive et le risque de consommation de morceaux de plastique soient accrus pour les espèces de la Colombie-Britannique, l'ampleur de l'augmentation par rapport au risque d'enchevêtrement actuel dû aux débris marins est inconnue. Il est également impossible de quantifier l'importance du risque que de gros débris du tsunami soient un vecteur de la propagation d'espèces envahissantes.

Cependant, le risque de radioactivité associée au césium 137 (^{137}Cs) et à l'iode 131 (^{131}I) en provenance de la centrale nucléaire de Fukushima est estimé comme très faible. L'iode ^{131} a une période radioactive d'environ huit jours et ses niveaux d'activité sur les débris seraient maintenant bien inférieurs aux seuils de détection les plus sensibles et aux seuils d'effet connus. Le césium ^{137} est hydrosoluble, et la radioactivité déposée sur les débris peut être rincée par son exposition prolongée dans l'océan. Les résultats des essais réalisés sur des débris du tsunami recueillis par un navire de recherche russe en septembre 2011 indiquent que les niveaux de radioactivité se situent sous les seuils de détection. Il existe une possibilité de bioaccumulation du césium ^{137} dans les réseaux trophiques aquatiques, mais le risque pour les espèces et les écosystèmes marins de la Colombie-Britannique par transport biologique sera probablement faible, car le césium ^{137} est rapidement éliminé des organismes, avec une demi-vie biologique courte, de deux à trois mois environ.

L'impact de base des débris marins sur la navigation dans les eaux canadiennes est mal connu et, par conséquent, les effets supplémentaires associés à l'arrivée de débris du tsunami dans

les eaux canadiennes ne sont pas quantifiables à l'heure actuelle. Le principal risque pour la navigation est probablement posé par les gros objets (p. ex., caisses d'expédition, bateaux flottants ou partiellement submergés) qui arrivent dans les eaux côtières et les voies de navigation. On estime qu'il est très peu probable que des maisons puissent traverser le Pacifique en restant intactes, et le nombre de gros objets emportés par la mer au large du Japon et qui n'ont pas encore coulé ne doit pas être très élevé. Les filets et cordages à la dérive ainsi que les autres débris susceptibles de créer un enchevêtrement provenant du tsunami pourraient augmenter le risque d'enchevêtrement que d'autres débris posent actuellement pour les navires dans les eaux canadiennes. Les petits objets (p. ex., grumes ou petits morceaux de bois) ne devraient pas représenter de risque supplémentaire pour la circulation des navires au large de la côte ouest de l'île de Vancouver. À leur arrivée, les débris du tsunami ne devraient pas poser de risque pour la navigation des navires dans le détroit de Georgie, car les régimes de courants près de la surface les empêcheront le plus souvent de pénétrer dans cette zone.

Collaborateurs

Nom	Organisme
Cummins, Patrick	MPO, Sciences
Thomson, Richard	MPO, Sciences
Freeland, Howard	MPO, Sciences

Approuvé par :

Robin Brown
Gestionnaire, Division des sciences océanologiques
MPO, Secteur des sciences, région du Pacifique
Sidney (Colombie-Britannique)

Sources de renseignements

Bograd, S., Thomson, R.E., Rabinovich, A.B. et LeBlond, P.H. 1999. Near-surface circulation for the northeast Pacific Ocean from WOCE-SVP satellite-tracked drifters. Deep-Sea Res. II 46 : 2371-2403.

Ebbesmeyer, C. et Ingraham Jr., J.W. 1994. Pacific toy spill fuels ocean current pathways research. EOS, Transactions, American Geophysical Union. 75 : 425-432.

Gouvernement du Japon. 2012a. http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/hyouryuu/souryou_eng.pdf

Gouvernement du Japon. 2012b. http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/hyouryuu/souryou/Trajectory_01.pdf

Gouvernement du Japon. 2012c. http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/hyouryuu_eng.html

Gouvernement du Japon. 2012d. http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/hyouryuu/souryou/Trajectory_03.pdf

International Pacific Research Center (IPRC). 2012a. Russian ship finds tsunami debris where scientists predicted. Communiqué de presse conjoint avec le *STS Pallada*. Disponible au : http://iprc.soest.hawaii.edu/news/press_releases/2011/pallada_tsunami_debris.pdf. IPRC, School of Ocean and Earth Science and Technology (SOEST), University of Hawai'i at Mānoa.

International Pacific Research Center (IPRC). 2012b. Where will the debris from Japan's tsunami drift in the Ocean? Communiqué de presse conjoint avec le *STS Pallada*. Disponible au : http://www.soest.hawaii.edu/iprc/news/press_releases/2011/maximenko_tsunami_debris.pdf. IPRC, School of Ocean and Earth Science and Technology (SOEST), University of Hawai'i at Mānoa.

Maximenko, N., Hafner, J. et Niiler, P. 2012. Pathways of marine debris derived from trajectories of Lagrangian drifters. Mar. Pollut. Bull. 65 : 51-62.

Miller, I. et J., Brennan. 2012. Debris accumulation scenarios in Washing State from the March 2011 Tohoku tsunami. Wash. Sea Grant Publ. WSG-TR 12-02.

NOAA. 2012a. http://marinedebris.noaa.gov/info/japanfaqs.html

NOAA. 2012b. http://www.nesdis.noaa.gov/AboutNESDIS.html

NOAA. 2012c. http://marinedebris.noaa.gov/info/images/erma.jpg

NOAA. 2012d. http://marinedebris.noaa.gov/info/images/gnomegraphic.jpg

Oregon Parks and Recreation Department. 2012. http://www.oregon.gov/OPRD/PARKS/agatebeach_dock.shtml

Tabata, S. 1975. The general circulation of the Pacific Ocean and a brief account of the oceanographic structure of the North Pacific Ocean. Part I – circulation and volume transports. Atmosphere. 13 : 133-168.

Zhurbas, V. et Oh, I.S. 2003. Lateral diffusivity and Lagrangian scales in the Pacific Ocean as derived from drifter data. J. Geophys. Res. 108(C5) : 3141, doi:10.1029/2002JC002241.

Le présent rapport est disponible auprès du :

Centre des avis scientifiques (CAS)
Région du Pacifique
Pêches et Océans Canada
Station biologique du Pacifique
3190, chemin Hammond Bay
Nanaimo (Colombie-Britannique) V9T 6N7
Canada

Téléphone : 250-756-7208
Courriel : CSAP@dfo-mpo.gc.ca
Adresse Internet : www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs

ISSN 1919-3793 (Imprimé)
ISSN 1919-3815 (En ligne)
© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2013

An English version is available upon request at the above address.

La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2013. Transport vers la côte de la Colombie-Britannique de débris issus du tsunami japonais : mise à jour. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2012/045.